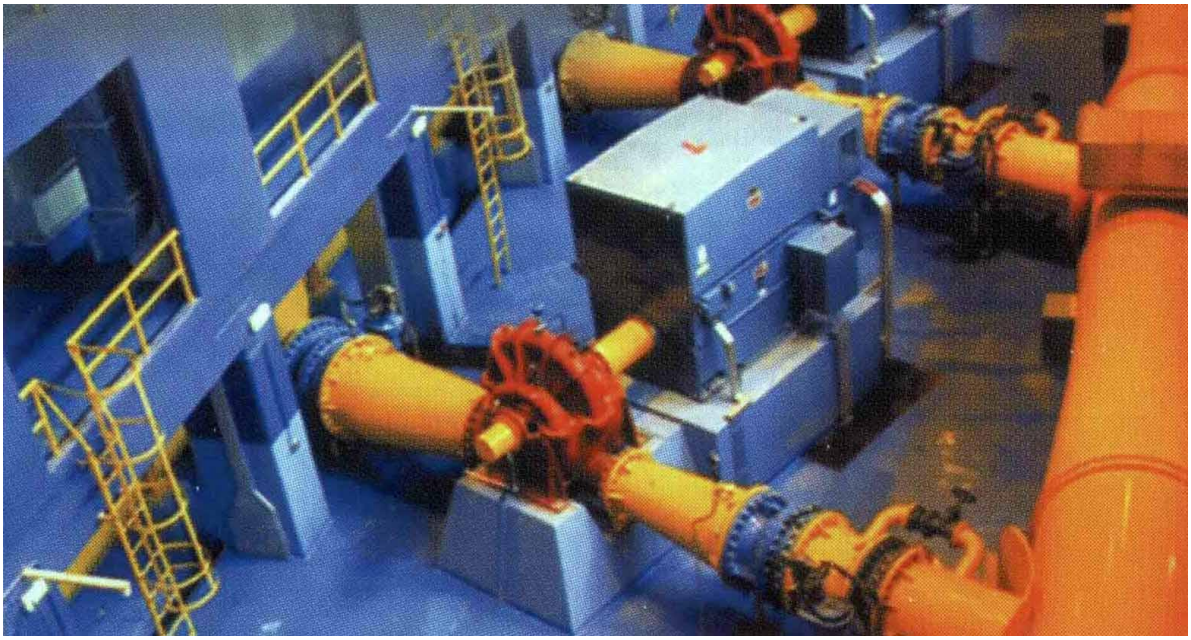
کاربرد کنترل کننده های دور موتور فرکانس اینورتر (VFD) در صرفه جویی انرژی

تهیه و تالیف:

حسینعلی کریم نژاد بائی

کارشناس مسئول برق و الکترونیک شرکت آب و فاضلاب شهر تهران



فهرست مطالب

مقدمه: 1

مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی: 3

انتخاب موتور مناسب: 5

اقدامات مورد نیاز برای بهبود عملکرد سیستمهای مرتبط با الکتروموتورها: 8

روشهای عملی برای افزایش بازدهی موتور: 11

دستور العملهای لازم برای بهبود عملکرد موتورهای الکتریکی: 15

دسته بندی اقدامات لازم برای بهینه سازی مصرف انرژی: 16

تکنولوژی الکترونیک قدرت و درایوهای AC: 17

کنترل کننده های دور موتور: 19

مزایای استفاده از کنترل کننده های دور موتور: 22

مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی و نقش کنترل کننده های دور موتور: 24

پمپها وفنها: 26

قوانین امنیتی در کاربردهای پمپ وفن: 29

سیستمهای تهویه مطبوع: 33

ماشین تزریق پلاستیک: 33

صرفه جوئی انرژی درتاسیسات آب و فاضلاب: 34

کمپروسورها: 35

قابلیتهای کنترل کننده های دور موتور مدرن: 35

مسائلی که درایوهای دور متغیر بوجود می آورند: 41

درایوهای ولتاژ متوسط Per Fect Harming: 20

توصیه ها: 45

خلاصه: 47

بهینه سازی مصرف انرژی در الکتروموتورهای صنعتی

مقدمه: امروزه بشر با توجه به علم و آگاهی، تلاش می کند از هزینه های سنگین درساخت نیروگاهها و سدها برای تولید انرژی، جلوگیری نموده و با تغییرات در سیستم ها استفاده بهینه از انرژی را داشته باشد.

بحث انرژی از دو دیدگاه اقتصادی وزیست محیطی حائز اهمیت است. بهینه سازی مصرف انرژی به این معنی است که بتوان با استفاده از تغییرات در تجهیزات با مدیریت بهتر همان کاررا ولی با مصرف انرژی کمتر انجام بدهیم، صرفه جویی انرژی می تواند با استفاده از تجهیزات بهتر نظیر عایق بندی مطلوب وافزایش راندمان سیستم های حرارتی وبازیابی تلفات حرارتی به دست آید از طرف دیگر اعمال مدیریت انرژی به منظوردرک سیستمهای موجود و طریقهٔ استفاده از آنها می تواند درکاهش مصرف انرژی نقش مهمی داشته باشد. درسیاست گذاری انرژی بایدسازمانها رویگرد سیستمی داشته باشد به طور مثال در بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی هدف تنها کاهش هزینه های انرژی یک یا چند الکتروموتور مشخص نیست بلکه آثار اقدامات مورد نظر روی سایر سیستم ها نیز به دقت مورد توجه قرار گیرد. در اغلب بخش های صنعتی انززی الکتریکی مهمترین منبع انرژی صنعت به شمار می رود. از آنجا که موتورهای الکتریکی، مصرف کننده اصلی انرژی الکتریکی در تاسیسات صنعتی می باشد. لذا بهینه سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی موضوع مقاله است از اهمیت ویژه ای برخوردار خواهد بود برای درک اهمیت بهینه سازی مصرف

انرژی الکتریکی به این مورد اشاره می کنیم که اگر راندمان موتوهای الکتریکی القایی موجود در اروپا تنها به میزان 1٪ افزایش یابد هزینه مصرف انرژی الکتریکی به میزان 1/6 میلیارد دلار درسال کاهش خواهد یافت.

آمار منتشر شده ازسوی وزارت نیرو نشان می دهد درسال 1373، 38/5٪ از کل ا نرژی الکتریکی مصرف شده در ایران توسط موتورهای الکتریکی بوده است. البته این میزان در کشورهای صنعتی تا 65٪ می رسد و شاخص خوبی برای نشان دادن سطح صنعتی شدن یک کشور می باشد.

اهداف بهینه سازی مصرف انرژی را می توان به صورت زیر بیان نمود:

1- استفاده منطقی از انرژی

2- حفظ منابع انرژی

3- اصلاح میزان مصرف انرژی دربخش های مصرف کننده انرژی

4- اصلاح وضعیت موجود

می توان اقدامات مختلفی برای صرفه جویی انرژی در الکتروموتورهای صنعتی به عمل آورد.

در حالت کلی این اقدامات به دو دسته تقسیم می شود.

1- اقدامات مربوط به طراحی موتور

2- اقدامات مربوط به بهره برداری از موتورها

اقدامات مربوطه به بهره برداری از موتورها را نیز می توان به دو دسته تقسیم نمود.

1- اقدامات روی موتور، نظیر تهویه روغنکاری و بار گذاری

2- استفاده از کنترل کننده دور موتور

در این مقاله نخست روشهای بهینه سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی را مورد بحث قرار می دهیم پس کاربرد درایوها در کنترل هر موتور الکتریکی و تاثیری که آنها می تواند درصرفه جویی مصرف انرژی بگذارد مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

1)**مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی**: درسالهای اخیر بهینه سازی مصرف انرژی درمنابع بدلایل اقتصادی وزیست محیطی اهمیت بیشتری یافته و موجب شده است که اقدامات عملی گسترده ای دراین زمینه بعمل آید.

علی رغم اینکه یکی از بزرگترین مصرف کنندگان انرژی الکتریکی دربخش صنعت موتورهای الکتریکی می باشند، لیکن درزمینه افزایش بازدهی مبدلهای انرژی الکتریکی به مکانیکی مستقر درمنابع اقدامات عملی چندانی بعمل نیامده است. بدیهی است که افزایش بازدهی محرک های صنعتی نه تنها از نظر اقتصادی مورد توجه استفاده کنندگان می باشند بلکه در برنامه ریزی انرژی درسطح ملی نیز حائز اهمیت است.

مطالعات انجام شده در صنایع ایران حکایت از وضعیت نابسامان انتخاب و بهره برداری از موتورهای الکتریکی دارد. براساس این تحقیقات اغلب موتورها بزرگتر از میزان نیاز انتخاب

شده و در شرایط بدی نگهداشت می شوند. استفاده از موتورهای با راندمان بالا در ایران رایج نبوده و گزارش موثری از استفاده از درایو جهت صرفه جویی انرژی در دست نیست. کاربردهای صنعتی بسیاری می توان یافت که موتورها در بازدهی بسیار پایین تر از مقدار حداکثر قرار دارند. به عنوان مثال در یکی از کارخانجات صنعتی کشورمان در یک مورد، متوسط توان مصرفی دریک موتور القائی سه فاز صنعتی تنها 28٪ توان نامی اندازه گیری شده است. بدیهی است پایین بردن توان خروجی. تا این حد تاثیرات منفی قابل توجهی بر بازدهی و ضریب توان موتور خواهد داشت.

از سوی دیگر دولت نیز توانسته است در ترویج فرهنگ استفاده بهینه از انرژی الکتریکی توفیقات خوبی داشته باشد به عنوان مثال وزارت نیرو در سازمانهای وابسته به آن که شخصاً در زمینه بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی درسطح کلان عمل می کند هنوز در ارتباط با کاهش مصرف داخلی نیروگاها اقدام موثری بعمل نیاورده است در حالیکه پتانسیل صرفه جویی انرژی الکتریکی زیادی در نیروگاهها وجود دارد.

2)درایران موانعی که سرراه بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی موجود دارد را می توان بصورت زیر دسته بندی نمود.

- عدم آگاهی کافی مدیران صنایع از روشهای صرفه جوئی انرژی الکتریکی.
- ضعف دانش فنی مهندسین مرتبط با بهینه سازی مصرف انرژی

- نگرانی از ضریب اطمینان درایو و آثار منفی آن روی شبکه و موتور

- نداشتن یک رویکرد سیستمی در استفاده از موتورهای با راندمان بالا.

3)**انتخاب موتور مناسب**: موتورهای القائی سه فاز و یک فاز به دلیل تنوع مصرف در کاربردهای زیادی مورد استفاده قرار می گیرند. مشخصه های بار مکانیکی ناشی از کاربرد و مورد مصرف می باشد. بدیهی است موتور درصورتی می تواند بار مکانیکی متصل به آن را تامین کند که مشخصه عملکردی موتور منطبق بر مشخصه بار مکانیکی باشد.

3-1) تطابق موتور و بار:

همان طور که در بالا اشاره شد موتور و بار دارای مشخصه های خاص خود می باشند. منظور از تطابق بین موتور و بار انطباق بین مشخصه های موتور و مشخه های با متصل به محور موتور وجود ندارد. توان اغلب موتورها بیش از بار متصل به محورشان می باشد. با توجه به اینکه قیمت تمام شده موتور متناسب با توان آن می باشد. لذا بدیهی است انتخاب موتور با توان بیش از نیاز بار، علاوه بر افزایش هزینه اولیه موتور انتخاب شده بزرگتر از حد لازم باشد در این صورت موتور در حالت بار کامل و یا نزدیک به بار کامل کار نکرده و لذا بازدهی آن پایین تر از مقدار حداکثر آن خواهد بود. و خود این امر اشکالات جدی در بهینه سازی مصرف انرژی ایجاد خواهد کرد. در موتورهای القائی سه فاز درصورت کاهش میزان بازدهی موتور به ویژه به میزان کمتر از 80٪ بار کامل، شاهد کاهش قابل توجه در بازدهی موتور خواهیم بود. متاسفانه در اکثر موارد به این نکته توجه نشده و تنها تاثیر

نامطلوب انتخاب موتور بزرگتر از حد لازم بر هزینه اولیه مورد توجه قرار می گیرد. در صورتیکه محاسبات انجام شده حاکی از آن است که تاثیر انتخاب نامناسب موتور بر هزینه های متغیر (هزینه اتلاف انرژی اضافی) قابل توجه و بمراتب بیش از افزایش هزینه ثابت اولیه می باشد.

انتخاب موتور بزرگتر از حداقل مورد نیاز به دلایل زیر غیر اقتصادی می باشد:

1- افزایش توان موتور و قیمت آن یعنی هزینه اولیه افزایش می یابد.

2- افزایش توان موتور هزینه های نگهداری و تعمیرات آن افزایش می یابد.

3- افزایش توان موتور بدلیل پایین آمدن ضریب بار بازدهی موتور کاهش یافته و بدین ترتیب انرژی تلف شده افزایش می یابد.

3-2) موتورهای با راندمان بالا:

گرچه قیمت موتورهای با راندمان بالا بیشتر ار موتورهای استاندارد است. ولی در اغلب کاربردهای استفاده از آنها کاملاً اقتصادی است. مخصوصاً در کاربردهایی که:

- مدت زمان روشن بودن موتور بیش از زمان خاموش بودن آن باشد.
- مدت زمان روشن بودن موتور بیش از 2000 ساعت در سال باشد.
- گشتاور بار نسبتاً ثابت بوده و موتور به درستی به بار تطبیق شده باشد.

استفاده از موتورهای با راندمان بالا توصیه می شود. بارهایی چون میکرها. نقاله ها و فیدرها از این نوع هستند. اهمیت موضوع وقتی آشکار می شود که توجه کنیم که هزینه

انرژی مصرفی یک الکتروموتور در طول عمر مفید آن10 تا 20 برابر قیمت موتور است. موتورهای با راندمان بالا علاوه بر صرفه جوئی انرژی معمولاً مزیتهای دیگری نیز دارند. برای مثال آنها جریان های بیشتری را در هنگام راه اندازی تحمل می کنند و حرارت و نویز کمتری تولید می کنند هر چند که موتوهای با راندمان بالا تنها 2تا 3 درصد راندمان را بهبود می دهند اما اگر درانتخاب و بکارگیری آنها بجای یک موتور کل سیستم در نظر گرفته، اثر بخش کار بالا خواهد رفت با رویکرد سیستمی به موضوع و در نظر گرفتن عوامل دیگر نظیر هزینه های تعمیر و نگهداشت و بهره برداری می توان به کارائی این موتورها بیشتر پی برد. میزان صرفه جوئی انرژی در صورت استفاده از موتور با راندمان بالا، به جای موتورهای استاندارد از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\text{صرفه جویی} = hp \times ۰/۷۴۶ \times L \times hr \times C \times [\frac{۱۰۰}{n_{\text{std}}} - \frac{۱۰۰}{\eta_{cc}}]$$

دررابطه فوق hp توان موتور به حسب اسب بخار، 1 ضریب (درصد از بار کامل تقسیم بر100)، hr ساعات کار درطول سال، C متوسط قیمت انرژی (قیمت هر کیلو وات ساعت انرژی)

η_{std} راندمان موتور استاندارد 1٪ n_{cc} راندمان موتور با راندمان بالا (1) است.

توصیه می شود هنگام خرید موتور ویا سفارش ساخت ماشین به سازندگان ماشین از موتورهای با راندمان بالا استفاده گردد. همچنین معمولاً اقتصادی است که بجای سیم پیچی کردن موتورهای سوخته و استفاده مجدد از آنها از موتورهای با راندمان بالا استفاده

گردد. زمان بازگشت سرمایه (به سال) در زیر این نوع موتورها بطور ساده عبارت خواهد بود از:

$$\text{زمان بازگشت سرمایه} = \frac{\text{قیمت موتور (و نصب آن)}}{\text{میزان صرفه جویی انرژی حاصله}}$$

4-اقدامات مورد نیاز برای بهبود عملکرد سیستمهای مرتبط با الکتروموتورها:

یک موتور معمولاً با اجزا وسیستمهای دیگر در ارتباط است برای بهبود عملکرد الکتروموتورهای لازم است سیستمهای مرتبط با موتور نیز در نظر گرفته شود. این سیستمها شامل شبکه برق کنترل کننده های موتور و سیستم انتقال نیرو می گردد.

4-1) کیفیت توان Power Gvality:

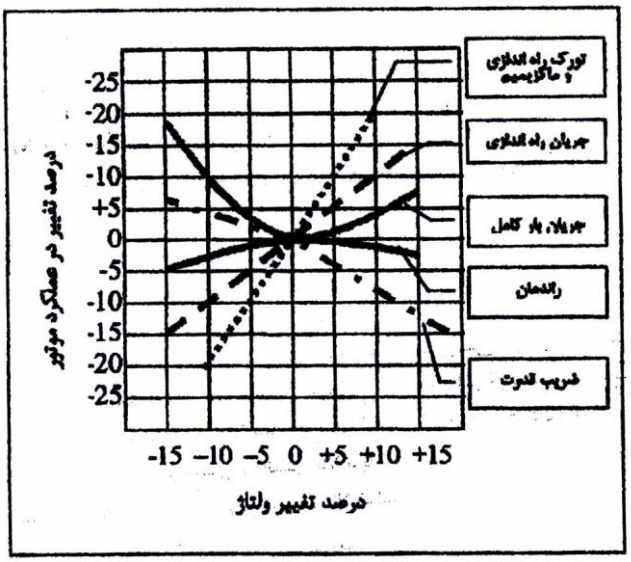
مسائل کیفیت توان شبکه کلیه اختلالات شبکه برق مثل عدم تقارن در ولتاژ و افت ولتاژ، چشمک زدن اسپایک. سیستم ارت بر، هارمونیکها و نظایر آن می شود. از آنجا که کیفیت توان تاثیر زیادی در اتلاف انرژی دارد، لازم است که یک مهندس مجرب وضعیت شبکه برق تاسیسات را زیر نظر داشته باشد.

4-2) تثبیت ولتاژ شبکه:

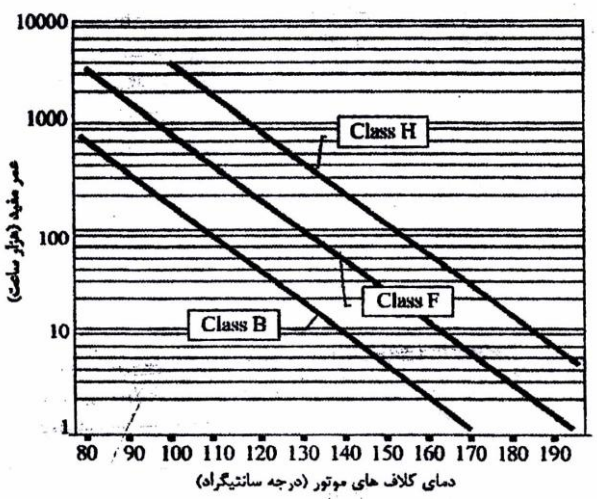
تا آنجا که ممکن است باید ولتاژ اعمالی به موتور نزدیک به ولتاژ کار موتور باشد. گر چه تغییرات 10٪ در ولتاژ موتور مجاز است اما از نقطه نظر اتلاف انرژی میزان انحراف از

ولتاژ نامی موتور باید کمتر از 5٪ باشد. تغییر ولتاژ موتور موجب افت ضریب قدرت، عمر مفید موتور و راندمان می گردد.

اگر ولتاژ موتور بیش از 5٪ کاهش پیدا کند زاندمان بین 2 تا 3 درصد افت پیدا کرده و دمای موتور حدود 15 درجه افزایش می یابد. واین افزایش دما عمر عایق موتور را کاهش خواهد داد. درشکل (2) عمر موتور در دماهای کار مختلف و با کلاسهای عایقی مختلف نشان داده شده است.



شکل (1): بررسی تاثیر تغییرات ولتاژ اعمالی به موتور روی تورک، جریان راه اندازی، جریان بار کامل، راندمان و ضریب قدرت.



شکل (۲): بررسی تاثیر دمای کلافهای موتور روی عمر مفید آن برای موتورهای با کلاس عایقی مختلف

3-4) عدم تقارن فاز:

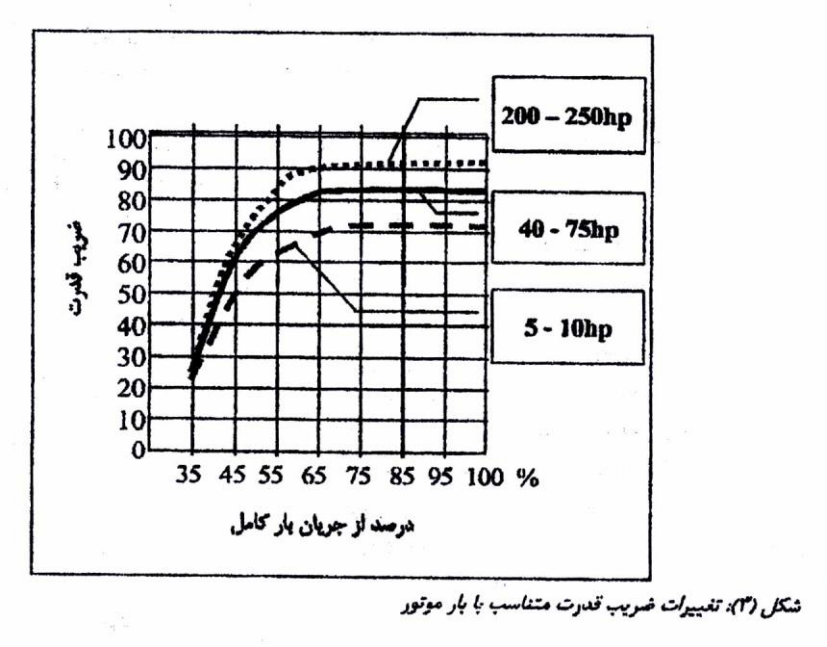
عدم تقارن فاز باید کمتر از 1٪ باشد عدم تقارن فاز بصورت زیر توسط NEMA تعریف شده است:

$$\frac{(\text{متوسط ولتاژ سه فاز} - \text{حداکثر انحراف ولتاژ از مقدار ولتاژ متوسط})}{\text{متوسط ولتاژ سه فاز}} \times ۱۰۰٪$$

برای مثال: اگر ولتاژ های فاز بترتیب 462، 463 و 455 ولت باشد متوسط ولتاژ سه فاز برابر با 460 ولت می مشود ودر صد عدم تقارن بصورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$\frac{٤٦٠ - ٤٥٥}{٤٦٠} \times ۱۰۰٪ = ۱/۱٪$$

4-4) ضریب قدرت پایین موجب افزایش جریان کابلها و ترانسفورماتورها وافت ولتاژ شده وبدین ترتیب باعث کاهش ظرفیت سیستم تغذیه می شود. ضریب قدرت پایین ناشی از بار کم در شفت موتور است. در شکل (3) منحنی های ضریب قدرت برای بارهای مختلف و رنجهای توانی متفاوت موتورها آمده است بوضوح مشاهده می شود با کاهش بار موتور ضریب قدرت تغییرات قابل توجهی می کند.



شکل (۳): تغییرات ضریب قدرت متناسب با بار موتور

5-روشهای عملی برای افزایش بازدهی موتور:

اشاره شد که بالا بردن بازدهی متوسط موتورهای القایی به لحاظ اقتصادی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بدیهی است نحوه عمل و دستیابی به نتایج مطلوب وابسته به نوع و اندازه موتور، شرایط بار گذاری، نحوه نگهداری و غیره بوده و لذا نمی توان دستور العمل کلی برای ارتقاء بازدهی کلیه موتورهای القائی ارائه داد و بطور کلی اقدامات لازم برای بالا بردن بازدهی موتورهای القائی را می توان به دو دسته تقسیم نمود دسته اول تمهیداتی است که در زمان طراحی وساخت موتور باید بکار گرفت و دسته دوم شامل مجموعه اقدامات عملی جهت بالا بردن بازدهی موتورهای القائی درحال کار در صنایع می شود. اقدامات عملی ساده ای منجر به افزایش راندمان کار می گردد. به عنوان مثال مقدار معمول جریان بی باری در موتورهای القائی سه فاز در محدوده 3 تا 5 درصد جریان نامی موتور است ولی در بررسی های بعمل آمده مشاهده شده است که در اکثر موارد جریان بی باری

موتور بیشتر از این مقدار بوده ودر برخی موارد تا 12٪ جریان نامی افزایش یافته است. این افزایش درجریان بی باری موتور بعلت عدم نگهداری صحیح از موتور است. در اکثر موارد این شرایط نامطلوب درحالات بارگذاری نیز مشاهده می شود. به این معنی که با اعمال بار مکانیکی غیر مفید به محور موتور بصورت اصطکاکهای مکانیکی ناشی از عدم نگهداری صحیح موجب می شود که موتور بار اعمال شده را در جریان الکتریکی بیشتری تامین می کند و در واقع بخشی از توان الکتریکی ورودی صرف تامین بار و قسمت دیگر آن برای غلبه بر اصطکاک مکانیکی صرف می شود. بدین ترتیب موارد زیر را در ارتباط با تلفات اهمی موتور می توان بیان کرد:

1- تلفات اهمی موتور متغیر بوده و تابعی از میزان و نجوه بارگذاری موتور می باشد.

2- در بسیاری از موراد عدم نگهداری صحیح از قسمتهای چرخان موتور به ویژه بلبرینگ محور موتور موجب ایجاد و بار مجازی ناشی از افزایش اصطکاک مکانیکی شده ولذا جریان ورودی موتور درحالت بی باری و از حد مطلوب و اعلام شده توسط سازنده بیشتر خواهد شد.

3- افزایش جریان ورودی موتور موجب بالا رفتن تلفات اهمی و حرارت ایجاد شده در سیم پیچ شده و لذا درجه حرارت اطراف سیم پیچی افزایش خواهد یافت.

از مشخصات بارز تلفات مکانیکی موتور دشواری محاسبه میزان و تعیین منابع آن است. بخش عمده تلفات مکانیکی در قسمت های چرخان موتور بوده و ناشی از اصطکاک و بار

می باشد ولذا میزان تلفات مکانیکی تا حد زیادی وابسته به شرایط نگهداری موتور دارد. بار روغن کاری مناسب و بموقع بلبرینگ و نظافت قسمتهای چرخان موتور و همچنین اطمینان از بالانس بودن محور می توان تلفات مکانیکی موتور را به حداقل رساند بدین ترتیب در ارتباط با تلفات مکانیکی موتور می توان موارد زیر را اظهارداشت:

1)میزان تلفات مکانیکی تابعی از شرایط نگهداری موتور می باشد.

2)با انجام اقدامات مناسب در نگهداری موتور می توان تلفات مکانیکی را بسادگی در مقدار حداقل خود نگه داشت.

3)تلفات مکانیکی نیز منجر به افزایش درجه حرارت بویژه در قسمتهای چرخان موتور می شود.

انواع تلفات موتور بدون توجه به نوع آن منجر به ایجاد حرارت می شود بدین ترتیب خنک کاری موتور بویژه در شرایطی که موتور زیر بار است از اهمیت ویژه ی برخوردار است. بالا رفتن درجه حرارت موتور باعث کاهش عمر مفید آن می شود. در موارد زیادی مشاهده شده است که بدلیل عدم رعایت نکات ساده و مهم در نگهداری موتور باعث کاهش بازدهی سیستم خنک کن شده و درجه حرارت موتور درحالت بار نامی افزایش پیدا کند. دراین گونه موارد و گاهی اوقات بجای رفع اشکال نگهداری. اقدام به جایگزین کردن موتور با توان بیشتر می شود که این از خود منجر به کاهش بازدهی سیستم و اتلاف انرژی خواهد شد.

بر اساس تجارب شرکت پرتو صنعت نوع دیگری از اشکلات مربوط به سیم پیچی موتورهای معیوب توسط افراد غیر متخصص می شود. مشاهدات ما نشان می دهد که در برخی از موارد موتور بدفعات مورد سیم پیچی قرار می گیرد. عدم رعایت نکات فنی در عایق بندی موتور سیم پیچی شده و همچنین استفاده از ابزار آلات غیر اصولی در آوردن سیم پیچی سوخته شده موتور نتایج بدی بدنبال دارد. به عنوان یک اصل تجربی موتور هایی که به این شیوه سیم پیچی مجدد می شوند برای کار با اینورتر یا کنترل کننده دور موتور مناسب نیستند اغلب این موتورها بدلیل آسیب هایی که به مدار مغناطیسی آنها در حین سیم پیچی دارد می شود از جریان بی باری بالاتر از حد معمول برخوردار بوده و عایق بندی آنها برای کار با اینورتر مناسب نمی باشد. این نوع موتورها حرارت بیشتری نسبت به به موتورهای سالم دارند و تلفات انرژی زیادی ایجاد می کنند. ضمناً این موتورها بمراتب آسیب پذیرتر از موتورهای فابریک می باشند توصیه می شود در سیم پیچی موتورهای آسیب دیده از تکنیسن های مجرب و ابزار آلات مناسب استفاده شود. ضمناً تا زمانیکه اطمینان از فرآیند کار حاصل نشده باشد از استفاده از این نوع موتورها همراه با کنترل کننده دور موتور اجتناب گردد. توصیه می شود اگر قصد تعویض این نوع موتورها را دارید و یا می خواهید موتورهای جدیدی تهیه کنید موتورهایی تهیه کنید که راندمان بالاتری داشته باشند.

6-دستور العملهای لازم برای بهبود عملکرد موتورهای الکتریکی:

اشاره شد که عوامل موثر بازدهی الکتریکی را می توان بصورت زیر بیان نمود:

- عوامل موثر در مراحل طراحی و ساخت

- عوامل موثر در بهره برداری.

عامل		
وابسته به شرایط بارگذاری موتور	بار کامل	بار
	سرعت	تغییر سرعت باید توسط کنترل کننده دور موتور انجام شود.
	بار ثابت	برای جلوگیری از هرگونه سرعت در موتور
	ولتاژ ثابت	برای جلوگیری از کاهش گشتاور موتور
وابسته به شرایط نگهداری موتور	تهویه	برای اطمینان یافتن از عدم افزایش دمای موتور از حد مجاز برخورداری ا زعمر مفید مورد نظر
	روغن کاری	برای جلوگیری از اعمال بار مجازی بر محور موتور ناشی از افزایش اصطکاک

جدول (1) عوامل مؤثر در بازدهی موتورهای الکتریکی

همان طور که مشاهده می شود مجموعه اقدامات ساده فوق خصوصاً اقداماتی که به عوامل وابسته به شرایط نگهداری موتور می شود می تواند منجر به صرفه جوئی اقتصادی قابل توجهی شود.

برای اطمینان یافتن از اینکه بازدهی موتورهای مستقر در صنایع و سایر کاربردها در حد مطلوب قرار دارد می توان نسبت به تدوین شناسنامه صنعتی برای هر موتور را (بویژه موتورهای بزرگ) اقدام نموده و با ثبت اطلاعات مورد نظر از جمله موارد زیر بازدهی این موتورها را مورد بررسی قرارداد:

- میزان بار (درصد از بار کامل)
- میزان تغییرات بار (درصد از بار کامل)
- میازن تغییرات سرعت (درصد از سرعت سنکرون)
- میزان تغییرات ولتاژ شبکه (درصد از ولتاژ نامی)

توصیه می شود کارخانجاتی که در آنها تعداد موتور مورد استفاده زیاد می باشد نسبت به جمع آوری اطلاعات فوق و اقدامات اصلاحی اقدام نمایند.

7-دسته بندی اقدامات لازم برای بهینه سازی مصرف انرژی:

برای روشن شدن تاثیر اقدامات مختلف برای افزایش بازدهی موتورهای الکتریکی درجدول (2) نتایج قابل انتظار این اقدامات برای دسته ای از موتورهای القائی با توان خروجی 2/2 تا 30 کیلو وات نمایش داده شده است.

جدول (2)

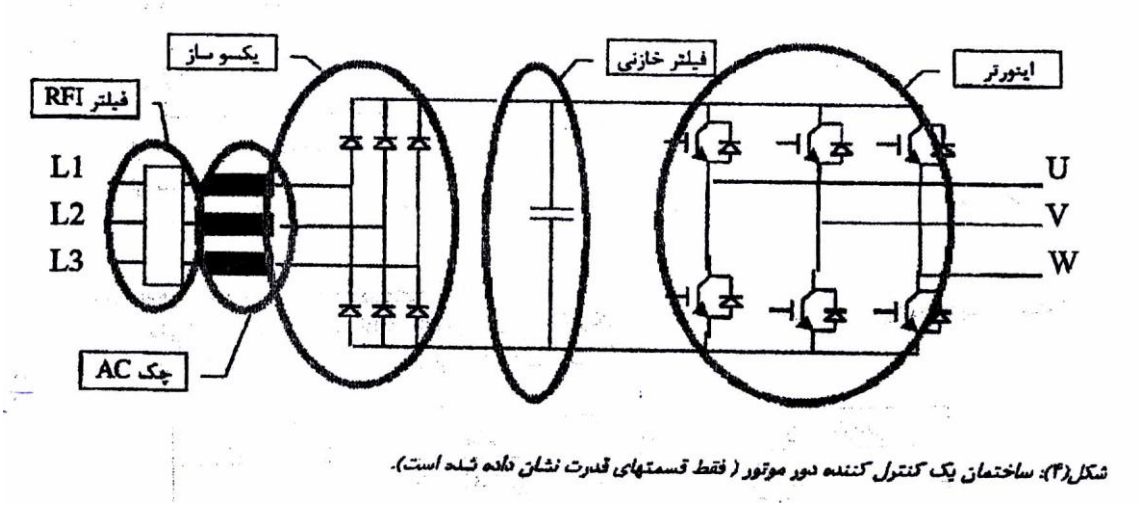
مرحله	نوع اقدام	پیش بینی میزان افزایش بازدهی
طراحی	بهینه سازی طرح	5-I5
تولید	بکارگیری تکنولوژی مدرن	0-5
بهره برداری	بار کامل و ثابت	10-I5
بهره برداری	ولتاژ ثابت	0-5
بهره برداری	تهویه مطلوب	4-6
بهره برداری	اصطکاک کم	5-8

8-تکنولوژی الکترونیک قدرت و درایوهای AC:

تکلنولوژی الکترونیک (Power Electronics) بهره وری و کیفیت فرآیندهای صنعتی مدرن را بی وقفه بهبود می بخشد. امروزه با کمک همین تکنولوژی امکان استفاده از منابع انرژی غیر آلاینده بازیافتی (Renewabe Engergy) نظیر باد و فتولتائیک فراهم شده است تخمین زده می شود که با استفاده از الکترونیک قدرت، حدود 15 تا 20 درصد امکان صرفه جوئی انرژی الکتریکی وجود دارد در واقع با کاهش بیوقفه قیمت ها درعرصه الکترونیک قدرت زمینه برای حضور آنها در کاربردهای صنعتی، حمل ونقل و حتی خانگی فراهم می گردد.

نیروی محرک بیشتر پمپها و فن ها موتورهای القائی هستند که در ثابت کار میکنند، لیکن در سالهای اخیر با پیشرفتهای انجام گرفته در زمینه الکترونیک قدرت، استفاده از موتورهای القائی قفس سنجابی همراه با کنترل کننده دور موتور(ACDEIVE یا اینورمتر یا بطور ساده درایو) رو به گسترش است. درایوها دستگاههایی هستند که توان ورودی با ولتاژ و فرکانس ثابت را به توان خروجی با ولتاژ فرکانس متغییر تبدیل می کنند باید توجه کرد که دوری یک موتور تابعی از فرکانس منبع تغذیه آن است. برای این منظور یک درایو نخست برق شبکه را به ولتاژ DC تبدیل کرده و سپس آن را با استفاده از یک اینورتر مجدداً به ولتاژ AC با فرکنس و ولتاژ متغیر تبدیل می کند. در شکل (4) قسمتها ی اصلی یک داریو ولتاژ پایین نشان داده شده است. همانطورکه مشاهده می کنید قسمت اینورتر متشکل از سوئیچهای قدرتی است که درسالهای اخیر تغییرات تکنولوژیک زیادی پیدا کرده اند. در واقع با معرفی سوئیچهای قدرتی چون IGBT با قیمتهای روبه کاهش زمینه برای عرضه درایوهای با قیمت مناسب فراهم شد. در هر حال خاطرنشان می کنیم که شکل موج خروجی درایو ترکیبی از پالسهای DC با دامنه ثابت است. این موضوع موجب می شود که خود درایو منشا اختلافاتی در کار موتور شود و یا موجب نوسانات گشتاورTorque Pulsation در موتور گردد. با این حال درایوهای امروزی بدلیل استفاده از سوئیچهای قدرت سریع هستند این نوع مشکلات را عملاً حذف کرده اند کنترل کننده های دور موتورهای الکتریکی هر چند که ادوات پیچیده ای هستند ولی چون در ساختمان آنها از مدارات الکترونیک قدرت

استاتیک استفاده می شود و فاقد قطعات متحرک می باشند. از عمر مفید بالایی برخوردار هستند. مزیت دیگر کنترل کننده های دور موتور وتوانایی آنها در صورت دادن انرژی معرفی در ترمزهای مکانیکی و با مقاومت های الکتریکی به شبکه می باشد. در چنین شرایطی با استفاده از کنترل کننده های دور مدرن می توان از اتلاف این نوع انرژی جلوگیری نمود. بطوریکه در برخی کاربردها قیمت انرژی بازیافت شده از این طریق، در کمتر از یکسال مبادله خرید سرمایه گذاری سیم تا بازیافت انرژی می شود.



شکل(۴): ساختمان یک کنترل کننده دور موتور (فقط قسمتهای قدرت نشان داده شده است).

9-کنترل کننده های دور موتور:

تا اینجا در مورد مجموعه اقداماتی که برای بهینه سازی مصرف انرژی میتوانستیم روی موتورهای الکتریکی اعمال می کنیم باعث شد. اشاره شد که در کشور ایران در سال 73 بیش از 35 درصد مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی بخش صنعت بوده است. البته این مقدار در کشورهای صنعتی تا 65 درصد نیز میرسد. این امر اهمیت بهینه سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی را نشان می دهد در این قسمت از مقاله در مورد تاثیر

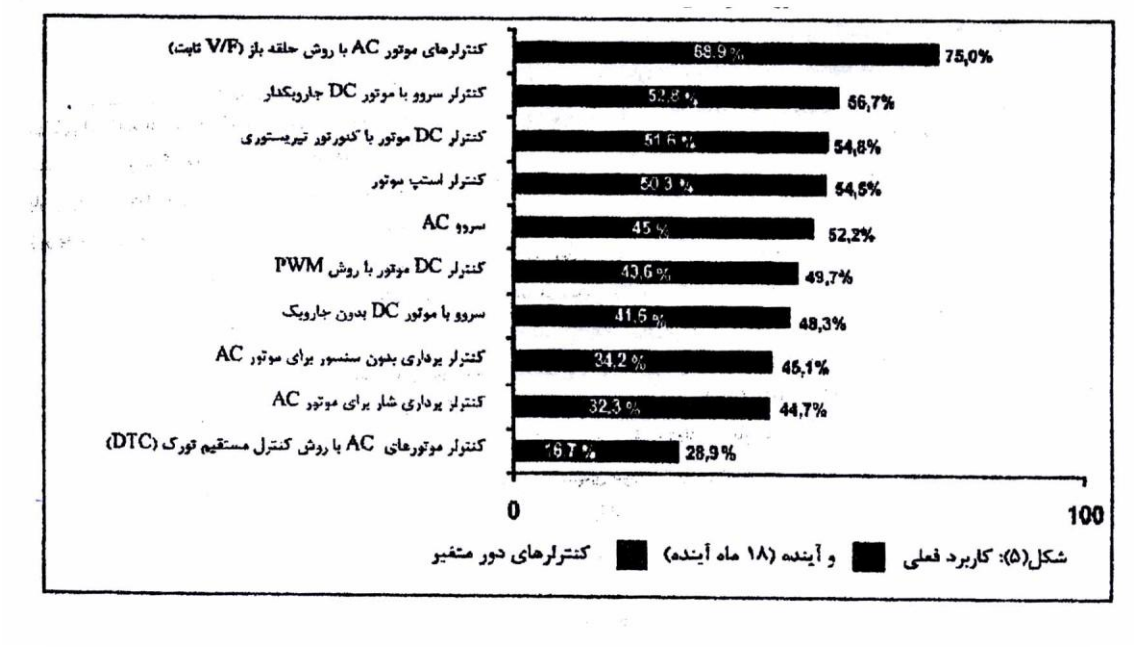
استفاده از کنترل کننده های دور موتور در کاهش مصرف انرژی صحبت خواهیم کرد. سعی می کنیم با استفاده از تعدادی مثال اهمیت موضوع را نشان دهیم. بطور خلاصه در کاربردهای صنعتی زیادی صرفه جویی که با استفاده از کنترل کننده های دور موتور در مصرف انرژی حاصل می شود بمراتب بیشتر از اقدامات برشمرده در قسمتهای قبلی مقاله است. استفاده از موتورهای مجهز به کنترل کننده دور موتور ،امکان اعمال تغییرات لازم در سرعت موتور فن ویا پمپ را بطور دائم فراهم آورده و بدین ترتیب میتوان با توجه به فرآیند مورد نظر از اتلاف انرژی ایجاد شده در تنظیم کننده های مکانیکی جلوگیری نمود وبا استفاده از درایو موتور به بار تطبیق داده شده و هر گونه نیاز به خاموش و روشن کردن موتور و یا ادوات تنظیم کننده نظیر شیر یا دمپر حذف می گردد. همچنین کنترل سرعت دقیق و متعاقب آن توان خروجی قابل دسترسی بوده و با توجه به استفاده از مدارات الکترونیکی، استهلاک قسمتهای کنترل کننده ها درصد بسیار پایین خواهد بود. تصمیم گیری در مورد استفاده از موتور با کنترل کننده دور متغیر بستگی به نوع کاربرد مورد نظر دارد از آنجا که هزینه اولیه این سیستمها (کنترل کننده دور موتور) بیش از سایر روشها می باشد وبا توجه به اینکه صرفه جویی ناشی از بالا بردن بازدهی تنها بصورت کاهش هزینه راهبری نمایان می شود، لذا استفاده از موتورهای مجهز به کنترل کننده دور در طول زمان منجر به صرفه جوئی اقتصادی می شود. معمولاً بسته به نوع کاربرد زمان بازگشت سرمایه گذاری بین یک تا سه سال متغیر خواهد بود.

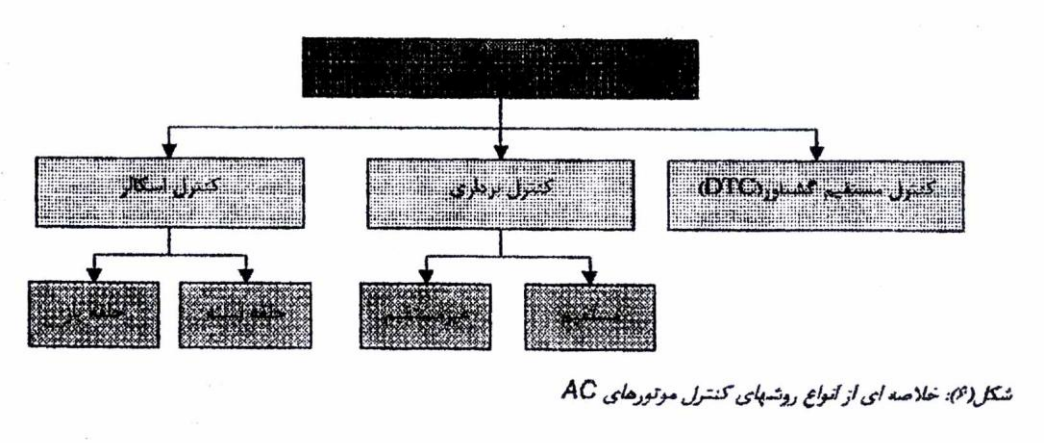
متاسفانه در اکثر موارد بهترین عامل در انتخاب محرک قیمت اولیه است. بدین معنی که سیستم بر مبنای کمیته سازی هزینه اولیه انتخاب می شود. در حالیکه در طول عمر مفید آن هزینه قابل توجهی صرف انرژی تلف شده و یا تعمیر و نگهداری می شود.

کنترل کننده های دور موتور انواع مختلفی دارند آنها قادرند انواع موتورهای AC و DC را کنترل کنند.

قیمت کنترلرها وابسته به نوع تکنولوژی بکار رفته در ساختمان آنها می باشد. ساده ترین روش کنترل موتورهای AC روش تثبیت نسبت ولتاژ به فرکانس (یا کنترل V/F ثابت) می باشد اینکه این روش بطور گسترده در کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد. این نوع کنترلرها از نوع اسکالر بوده و بصورت حلقه باز با پایداری خوب عمل می کنند. مزیت این روش سادگی سیستمهای کنترلی آن است. و تعامل این نوع کنترلرها برای کاربردهای با پاسخ سریع مناسب نیم باشند. روبوتها و ماشینهای ابزار نمونه هائی از کاربردهای با دینامیک بالا هستند. در این کاربردها روشهای کنترلی برداری استفاده می شود. در روشهای کنترل برداری با تفکیک مولفه های جریان استاتور به دو مولفه تورک ساز و فلوساز کنترل آنها با استفاده از گولاتورهای PI ترتیبی داده می شود که موتور AC نیز در دسترس خواهد بود. برای مثال پاسخ گشتاور در روشهای برداری حدود 10–20ms و در روشهای کنترل مستقیم گشتاور (Direct Tor qu Control) این زمان حدود 5ms است. اینک روشهای کنترل برداری متعددی پیاده سازی شده است که

بررسی آنها خارج از حوصله این مقاله است. درهرحال نوع کنترلر مطلوب. متناسب با کاربرد انتخاب می گردد. در شکل (6) خلاصه ای از انواع روشهای کنترل موتورهای AC نمایش داده شده است.





شکل(۶): خلاصه ای از انواع روشهای کنترل موتورهای AC

10- مزایای استفاده از کنترل کننده های دور موتور:

مزایای استفاده از کنترل کننده های دور موتور هم در بهبود بهره وری تولید و هم در صرفه جوئی مصرف انرژی در کاربردهائی نظیر فنها، پمپها، کمپرسورها و دیگر

محرکه های کارخانجات در سالهای اخیر کاملاً مستند سازی شده است. کنترل کننده های دور موتور قادرند مشخصه های بار را به مشخصه های موتور تطبیق دهند. این اسباب توان راکتیو ناچیزی از شبکه میکشند و لذا نیازی به تابلوهای اصلاح فریب بار ندارند در زیر به مزایای استفاده از کنترل دور موتور اشاره می شود:

1- در صورت استفاده از کنترل کننده های دور موتور بجای کنترلرهای مکانیکی، در کنترل جریان سیالات بطور موثری در موثر انرژی صرفه جویی حاصل می شود. این صرفه جویی علاوه بر پیامدهای اقتصادی آن موجب کاهش آلاینده های محیطی نیز می شود.

2- ویژگی اینکه کنترل کننده های دور موتور قادرند موتور را نرم راه اندازی کند موجب می شود علاوه بر کاهش تنشهای الکتریکی روی شبکه، از شوکهای مکانیکی به بار نیز جلوگیری می شود. این شوکهای مکانیکی می تواند باعث استهلاک سریع قسمتهای مکانیکی بلبرینگها و گیربکس و نهایتاً قسمتمایی از بار شوند. راه اندازی نرم هزینه های نگهداری را کاهش داده و به افزایش عمر مفید محرکه ها و قسمتهای دوار منجر خواهد شد.

3- جریان کشیده شده از شبکه در هنگام راه اندازی موتور با استفاده از درایو کمتر از 10٪ جریان اسمی موتور است.

4- کنترل کننده های دور موتور نیاز به تابلوی اصلاح ضریب قدرت ندارند.

5- در صورتی که نیاز بار ایجاب کند با استفاده از کنترل کننده دور، موتو می تواند در سرعتهای پایین کار کند. کار در سرعتهای کم منجر به کاهش هزینه های تعمیر و نگهداشت ادواتی نظیر بلبیرنگها، شیرهای تنظیم کننده و دمپرها خواهد شد.

6- یک کنترل کننده دور قادر است برنج تغییرات دور راه نسبت به سایر روشهای مکانیکی تغییر دور، به میزان قابل توجهی افزایش دهد. علاوه برآن از مسائلی چون لرزش تنشهای مکانیکی نیز جلوگیری خواهد شد.

7- کنترل کننده های دور مدرن امروزی با مقدورات نرم افزاری قوی خود قادرند راه حلهای مناسبی برای کاربردهای مختلف صنعتی ارائه دهند.

11- مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی و نقش کنترل کننده های دور موتور:

امروزه در کشورهای صنعتی الزامات زیست محیطی از یکسو در قالب بنگاههای اقتصادی از سوی دیگر، مدیریت بهینه سازی انرژی را در بصورت یک امر غیر قابل اجتناب درآورده است. مجموعه اقداماتی که برای صرفه جویی انرژی در کارخانجات صورت می گیرد. شامل مواردی چون جایگزینی موتورهای الکتریکی با انواع موتورهای با بازدهی بالا، استفاده از کنترل کننده های دور موتور در کاربردهائی که اتلاف انرژی درآنها زیاد است. بازیافت انرژی از پروسه های حرارتی و نظایر آنها می شود. نتایج اعمال چنین اقداماتی نشان می دهد در موارد زیادی و بخصوص در جاهائی که از فنها، پمپها و کمپرسورها در

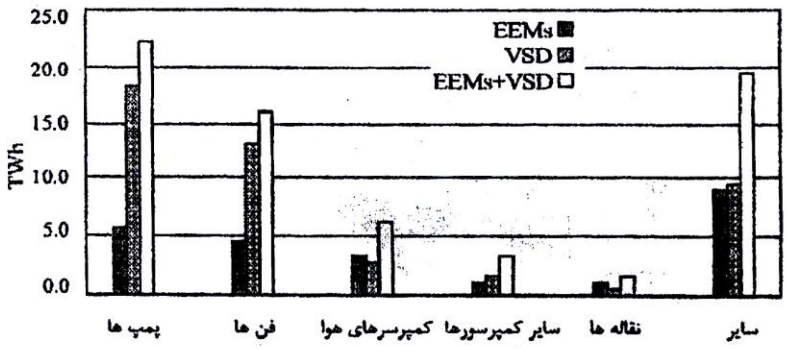
فرآیند تولید استفاده می شود. بکارگیری کنترل کننده های دور موتور علاوه بر انعطاف پذیر نمودن کنترل فرآیند تاثیر قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی داشته است. در بسیاری از موارد زمان بازگشت سرمایه بین یک تا سه سال می باشد. کمتر از 10٪ موتورها مجهز به درایو هستند. درحالیکه دربیش از 25٪ آنها استفاده از درایو توجیه اقتصادی دارد. براساس مطالعات انجام گرفته توسط اتحادیه اروپا تا سال 2005 میلادی پتانسیل صرفه جوئی انرژی مانع بر 63/5TWH درمنابع کشورهای عضو اتحادیه اروپا وجود دارد که این میزان بیش از 44/7 VTWH آن توجیه اقتصادی دارد. این میزان صرفه جویی انرژی تنها در سایه استفاده از موتورهای با راندمان بالا در درایو بدست میاید که سهم درایو در صرفه جویی دارای توجیه اقتصادی حدود 63٪ است. نتایج چنین مطالعاتی رابط و خلاصه در جدول (3) مشاهده می کنید. **جدول 3**

جدول (3) پتانسیل فنی و اقتصادی صرفه جوئی انرژی با استفاده از موتورهای با راندمان بالا (EEM) و کنترل دور (VSD) در کشورهای عضو اتحادیه اروپا تا سال 2005

مطالعه فوق با تفکیک بار پتانسیل اقتصادی صرفه جویی انرژی را نیز دراتحادیه اروپا مختص نموده است که نتایج آنرا در شکل (7) مشاهده می کند.

46.2	35.5	12.0
17.3	12.3	5.7
63.5	47.8	17.8
33.6	22.4	12.0
11.1	5.7	5.7
44.7	28.1	17.8

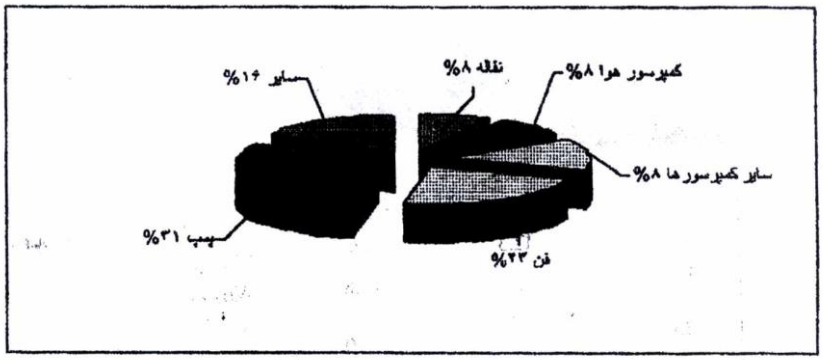
جدول(۳): پتانسیل فنی و اقتصادی صرفه جوئی انرژی با استفاده از موتورهای با راندمان بالا(EEM) و کنترل دور(VSD) در کشورهای عضو اتحادیه اروپا تا سال ۲۰۰۵.



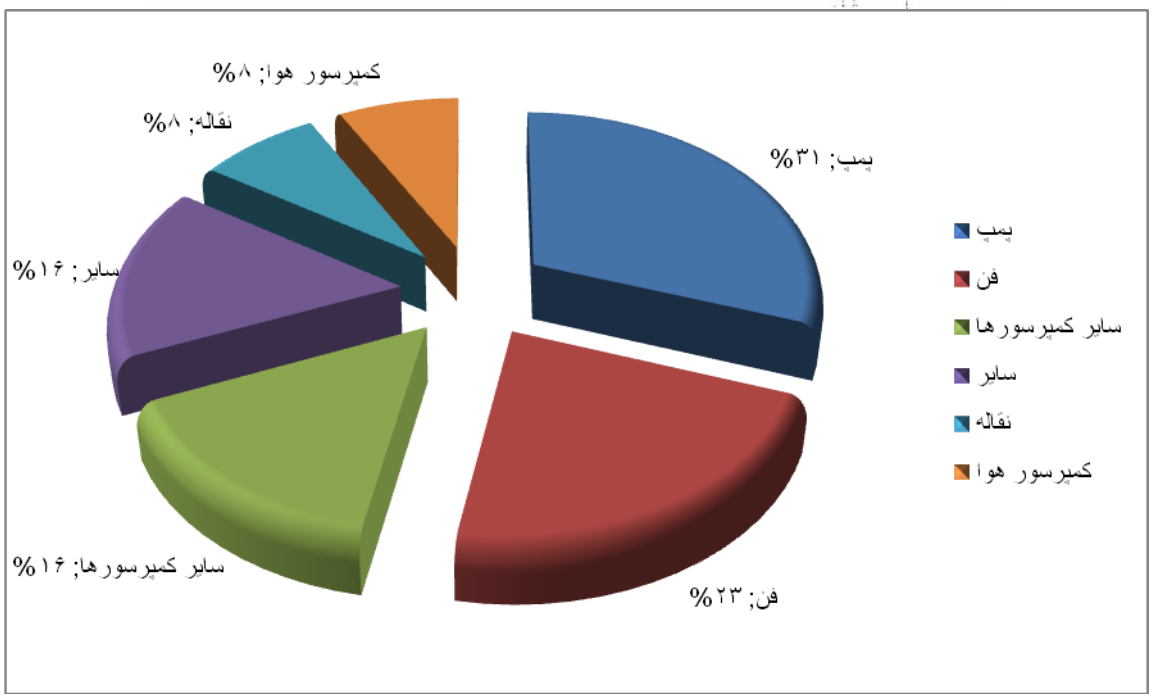
شکل(۷): پتانسیل صرفه جوئی اقتصادی درکشورهای عضو اتحادیه اروپا به تفکیک نوع بار

12- پمپها وفنها:

چیزی حدود 40 درصد انرژی مصرفی در بخش صنعت پمپها و فنها مصرف می شود. برای مثال در انگلستان ترکیب مصرف کنندگان انرژی در موتورها و درکاربرهای صنعتی بصورت زیر است:



شکل(۸): میزان انرژی مصرفی توسط بارهای مختلف در انگلستان

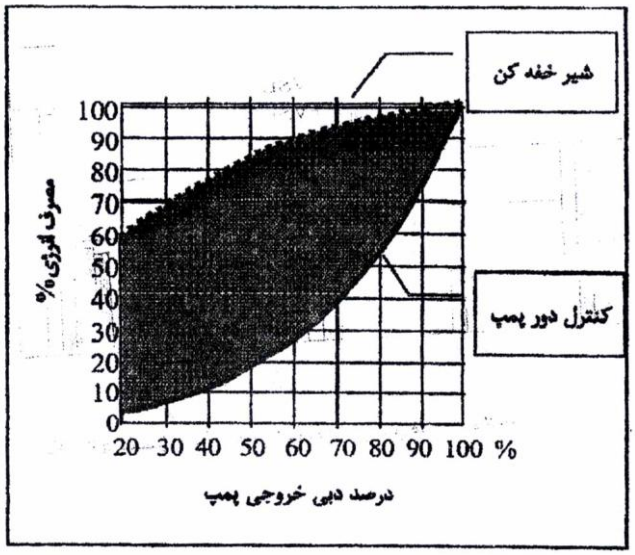


شکل (8): میزان انرژی مصرف توسط بارهای مختلف در انگلستان

اغلب این سیستمها موتورهای القایی با روتور قفس سنجابی استفاده می کنند و خروجی توسط اداواتی چون شیرهای تنظیم کننده و دمپرها کنترل می شوند. متاسفانه مقادیر قابل توجهی انرژی توسط این فنها و پیچها تلف می شوند موتورهای بکار رفته در اغلب این ادوات از مقدار مورد نیاز بزرگتر بوده و سیستمهای مکانیکی تنظیم کننده جریان سیالات در

آنها بسیار تلفاتی می باشند. به این عوامل باید هزینه های قابل توجه تعمیر و نگهداشت نیز اضافه شود با توجه به اینکه هزینه های خرید پمپ معمولاً کمتراز 5 درصد هزینه های بهره برداری آن در طول عمر سیستم پمپ است. کیفیت بهره برداری عامل مهمتری درتصمیم گیری برای انتخاب سیستمهای پمپ بشارمی رود.

انتخاب پمپ ها معمولاً بر اساس حداکثر دبی مورد انتظار صورت می گیرد در حالیکه اغلب اوقات هرگز فلوی ماکزیم مورد استفاده قرار می گیرد. این امر منجر به بزرگ شدن پمپ ها شده و بدین ترتیب مقدمات کار برای اتلاف انرژی واستهلاک هر چه سریعتر سیستم های پمپ فراهم می شود. اگر یک پمپ در دور تابعی خودکار خواهد کرد و توان مصرفی اضافی توسط موتور تلف خواهد شد از سوی دیگر برای کنترل دبی خروجی لازم خواهد بود از ادوات تصادفی نظیر شیرخفه کن استفاده گردد. با استفاده از کنترل کننده های دور می توان جریان سیالات در پمپ ها را با اعمال متغیر دور موتور کنترل نمود. امروزه این روش بدلیل انعطاف پذیری و صرفه جویی اقتصادی قابل توجه جایگزین روشهای فنی متکی بر تنظیم جریان سیال با استفاده از شیرهای تنظیم کننده مکانیکی و دمپرها می شود. در شکل (9) تفاوت در روش و میزان مصرف انرژی نشان داده شده است.



شکل(۹): مقایسه انرژی مصرفی کنترل فلو با شیر و درایو

13- قوانین امنیتی در کاربردهای پمپ وفن:

قوانین امنیتی درکاربردهای پمپ وفن سانتریفوژ پایه نظری صرفه جوئی انرژی با استفاده از درایو هستند. بر طبق این قوانین دوریک پمپ یا فن سانتریفیوژ در روابط زیر حاکم است

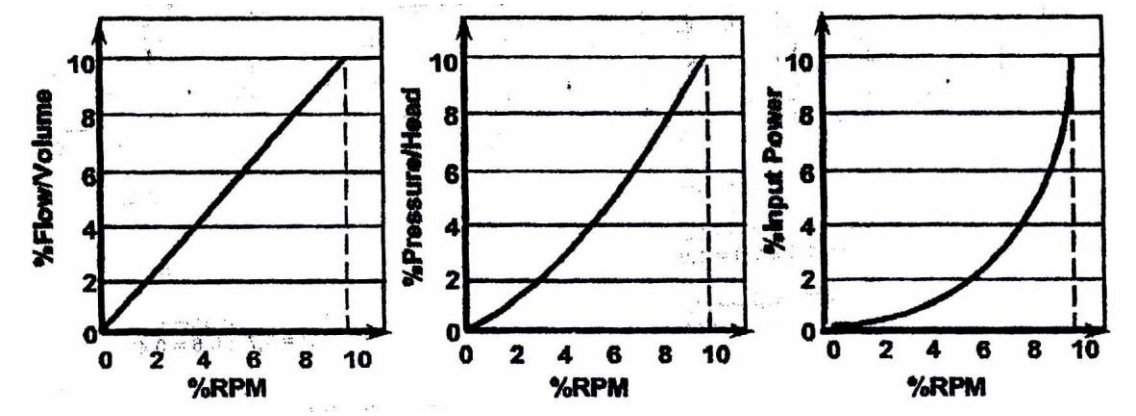
N: سرعت Q: فلویا حجم $Q \sim N$

H: هو یا فشار $H \sim N^2$

P: توان ورودی $P \sim N^2$

با توجه به شکل (10) فلو / ولوم بصورت خطی با دور پمپ / فن تغییر می کند برای مثال اگر دور موتور نصف شود فلونیز نصف خواهد شد از طرف دیگر با توجه به منحنی فشار یا هد متناسب با ربع دور تغییر می کند. دراین حالت اگر دور موتور نصف شود. فشار یا چرخها برابر کاهش پیدا کرده وبه 25٪ خواهد رسید. منحنی سمت راست نشان می دهد که

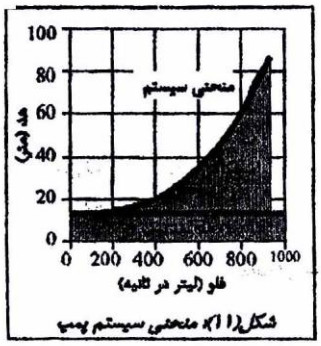
اگر دور موتور نصف شود مصرف توان 8 برابر کاهش پیدا کرده و به ٪ 12/5 خواهد رسید.



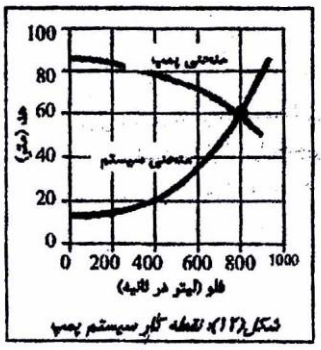
شکل (10) نمایش تصویری قوانین امنیتی در کاربردهای پمپ و فن سانتریفوژ

به خاطر می سپاریم با استفاده از کنترل کننده های دور موتور و کاهش تنها 15 درصد دور می توان به میزان 40 درصد در مصرف انرژی صرفه جویی کرد. حال اجازه بدهید کمی دقیق تر به رفتار یک پمپ توجه کنیم. شکل (11) مشخصات یک سیستم پمپ را نشان می دهد هد ساتیک عبارتست از اختلاف ارتفاع پمپ و تانک مقصد بدیهی است که اگر یک پمپ نتواند به این ارتفاع غلبه کند بی خروجی صفر خواهد بود. مولفه دوم هد اصطکاکی است که در واقع بیانگر توان مورد نیاز جهت غلبه بر تلفات ناشی از عبور سیال از لوله ها، شیرها و زانوها و دیگر اجزای سیستم لوله کشی می باشد.این تلفات کلا وابسته به سرعت عبور سیال بوده و غیر خطی است. با اضافه کردن دو منحنی، منحنی سیستم بدست می آید. درشکل (12) منحنی سیستم و منحنی پمپ با هم نشان داده شده است نقطه کاریک پمپ محل تلاقی منحنی پمپ و منحنی سیستم می باشد. با توجه به این منحنی ها روشن می شود

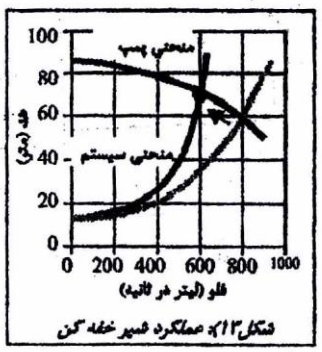
که میزان فلو درا ین سیستم 800 لیتر در ثانیه و هد 60 متر می باشد. اگر بخواهیم فقط کار را تغییر بدهیم لازم خواهد بود چیزی به سیستم اضافه نماییم. یک روش متداول در اینجا استفاده از شیر خفه کن است. شکل (13) تاثیر عملکرد شیر خفه کن در نقطه کار پمپ را مشاهده در واقع شیر اصطکاک مسیر سیال را افزایش داده و باعث افت فلو می گردد. با وجود اینکه با حضور شیر فلوبه 60 لیتر درثانیه کاهش پیدا کرده ولی در توان مصرفی سیستم تغییر محسوسی ایجاد نشده است حال نگاهی دقیق تر به موضوع خواهیم داشت.



شکل(۱۱): منحنی سیستم پمپ



شکل(۱۲): نقطه کار سیستم پمپ

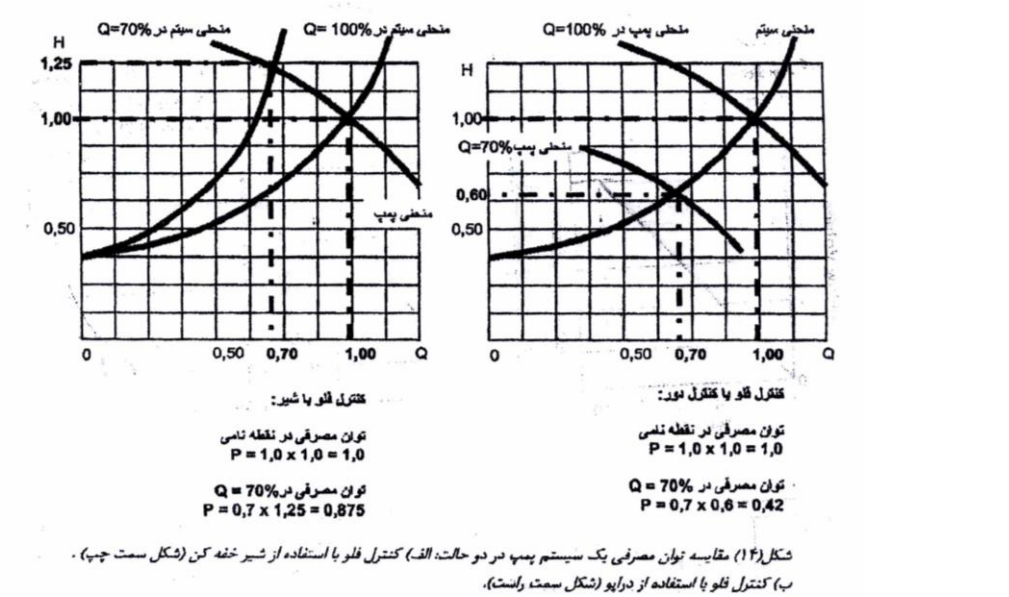


شکل۱۳: عملکرد شیر خفه کن

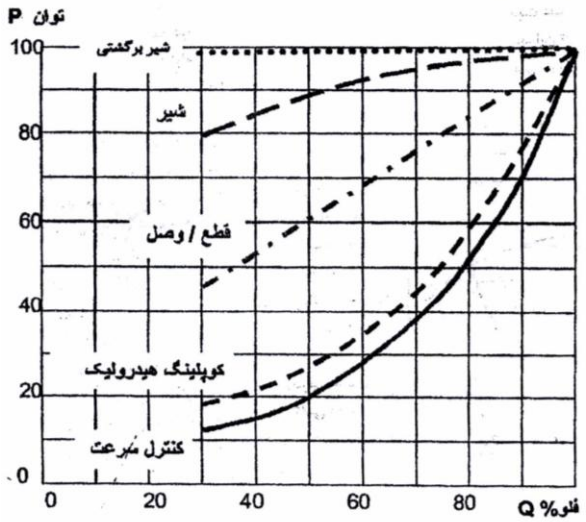
همانطور که در شکل (14) مشاهده می کنید برای دستیابی به فلوی مورد نظر از دو روش کنترل فلو با استفاده شیر و کنترل با استفاده از درایو استفاده شده است. درروش کنترل فلو با شیر میزان توان معرفی 875٪ درصد در کنترل فلو با درایو توان معرفی 43٪ درصد

توان نامی می باشد. برای مثال اگر توان نامی پمپ 100KW باشد. تفاوت توان مصرفی دو روش معرفی برابر خواهد بود:

$$(۱۰۰kw \times ۰/۸۷۵) - (۱۰۰kw \times ۰/٤۳) = ٤٥/٥kw$$



شکل(۱۴) مقایسه توان مصرفی یک سیستم پمپ در دو حالت: الف) کنترل فلو با استفاده از شیر خفه کن (شکل سمت چپ) .
ب) کنترل فلو با استفاده از درایو (شکل سمت راست).



شکل (۱۵) - میزان مصرف انرژی در یک پمپ در پنج حالت : با استفاده از شیر برگشتی، با استفاده از شیر خفه کن، با قطع و وصل پمپ، با استفاده از کوپلینگ هیدرولیک، با استفاده از کنترل کننده دور موتور

هر چند که در سیستمهائی که هد استاتیک بالا ئی دارند با تغییر دور، راندمان پمپ هم به میزان زیادی تغییر میکند، ولی مزایای دیگر درایو استفاده از آن را بخوبی توجیه میکند. برای مثال میزان فشار هیدرولیک وارد شده به پره های پمپ سانتریفوژ با

هر چند که در سیستمهائی که هد استاتیک بالایی دارند، با تغییر دور راندمان پمپ هم به میزان زیادی تغییر می کند ولی مزایای دیگر درایوها استفاده از آن را بخوبی توجیه می کند

برای مثال میزان فشار هیدرولیک داده شده به پره های پمپ سانتریفوژ با دراین حالت

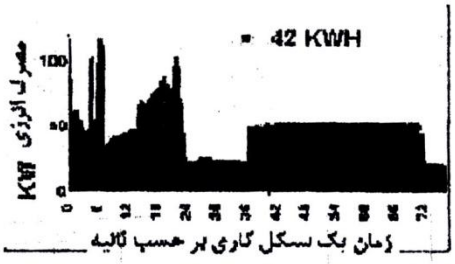
شرایط دریچه 100٪ بازو مقدار توان مصرفی موتور 560 KW قرائت گردید. همانگونه که انتظار داشتیم با استفاده از کنترل دور توانستیم توان فن را به شرایط بهره برداری قبل رسانده وتوان معرفی را به میزان زیاد کاهش دهیم. انتظار می رود با توجه به میزان سرمایه گذاری انجام شده جهت تهیه کنترل دور مورد نیاز زمان بازگشت سرمایه 3 سال باشد.

14- سیستمهای تهویه مطبوع:

موضوع صرفه جوئی انرژی در دنیای واقعی امروز حتی آثار خود را درسیستمهای تهویه مطبوع هتلها نیز خود را مطرح کرده است. دراین مکانها امکان صرفه جوئی انرژی تا مرز 50 درصد روی سیستمهای HVAC با سیستمهای حرارتی و هواسازی وتهویه مطبوع، وجود دارد و سرمایه گذاری اولیه در مدت دو سال از محل صرفه جوئی انرژی بازیابی می باشد.

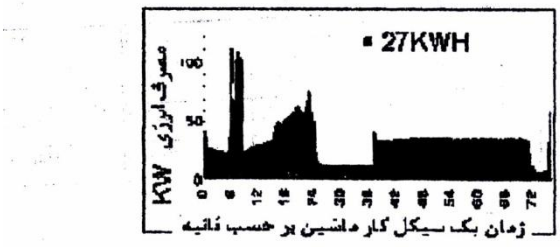
15- ماشین تزریق پلاستیک:

در یک ماشین تزریق پلاستیک استفاده از کنترل کننده دور موتور می تواند تا 50 درصد صرفه جوئی در مصرف انرژی داشته باشد برای روشن شدن این مطلب به دیاگرام نیز توجه می کنیم:



شکل (۱۶) مصرف انرژی در یک سیکل کاری ماشین تزریق پلاستیک- بدون استفاده از درایو

در دیاگرام فوق مصرف انرژی در یک سیکل کاری نشان داده شده است این حالت نرمال کار ماشین بوده و در این وضعیت از درایو استفاده نشده است. با استفاده از کنترل کننده دور موتور می توان توان تلفاتی ماشین را به میزان قابل توجهی کاهش داد. مضافاً اینکه در این صورت ماشین خیلی نرمتر کار کرده و از شوکهای مکانیکی اجتناب خواهد شد. خود این امر منجر به کاهش هزینه های تعمیر و نگهداشت ماشین می شود. در دیاگرام زیر توان مصرفی ماشین درحالت کار با کنترل کننده دور موتور نمایش داده شده است: با مقایسه دو دیاگرام مشاهده می شود که مصرف انرژی از 42 کیلو وات ساعت به 27 کیلو وات ساعت تقلیل پیدا کرده است.



شکل (۱۷) مصرف انرژی در یک سیکل کاری ماشین تزریق پلاستیک- با استفاده از درایو

16- صرفه جوئی انرژی درتاسیسات آب و فاضلاب:

درایوهای AC که در سیستم تصفیه فاضلاب شهر گرد مز سوئد با استفاده از درایو 40/5٪ صرفه جوئی انرژی بدست آمده است. این درحالی است که درسیستم فوق و با

استفاده از درایو مصرف مواد شیمیایی نیز ٪53 کاهش پیدا کرده است. راه حلهای جامعی در تاسیسات آب و فاضلاب وجود دارد. این راه حلها شامل طراحی این تاسیسات، انتخاب درایو و محاسبات صرفه جویی انرژی می شود.

17- کمپروسورها:

شرکت اطلس کوپکر موفق شده است با استفاده از درایو مصرف انرژی کمپروسورهای تولید خود را به میزان 35٪ کههش دهد. درکنار این دستاورد که مهم اطلس کرپکو توانسته است با استفاده از درایو فشار کمپروسور را با دقت و پایداری بیشتر کنترل کند، جریان راه اندازی را محدود نماید و ضریب قدرت را به بیش از 95٪ برساند بدین ترییب این کمپروسورها نیازی به خازنهای اصلاح ضریب قدرت ندارند. از سال 1994 به بعد که اطلس کرپکو این کمپروسورها را مصرفی کرده است توانسته است بازار کمپروسورهای دنیا را متحیر کند این رویکرد سیستمی در طراحی وارائه محصول با کیفیت، نمونه خوبی از افزایش مزیت رقابتی یک بنگاه اقتصادی می باشد.

18- قابلیتهای کنترل کننده های دور موتور مدرن:

درایوهای مدرن امروزی براساس تکنولوژی مدولار ساخته می شوند. ای امر هم در قسمتهای سخت افزاری وهم در قسمتهای نرم افزاری درایو رعایت می شود ساختار مدولار قابلیت برآورده سازی بسیاری از نیازهای مشتری را دارد. اغلب این درایوها از تکنولوژی کنترل برداری بهره می گیرند. این روش کنترل امکان کنترل موتور را با دقت و

دینامیک زیاد فراهم میاورد بطوریکه این درایوها اینک قادرند درست نظیر درایوهای DC رفتار نمایند. آنها را می توان در کاربردهای کنترل سرعت ویا کنترل گشتاور بسهولت مورد استفاده قرار داد. بطوریکه سادگی و استحکام موتورهای القائی در کنار این درایوها مجموعه ای مطمئن و کار از آنها می سازد. هرچند که این درایوها از تکنولوژی الکترونیک قدرت پیچیده استفاده می کنند اما بدلیل استاتیک بودنشان هزینه های نگهداشت زیادی به صنعت تحمیل نمی کنند. درایوهای مدرن قادرند بطور اتوماتیک فلوی مغناطیسی در موتور را در سطح بهینه آن نگهدارند این ویژگی در جاهائی که با موتور کم است منجر به صرفه جوئی انرژی خواهد شد.

درایوهای مدرن امروزه در کاربرد فیدبک دسر و نیز بسهولت بکار گرفته می شوند. ساختار مودلار آنها بگونه ای است که می توان متناسب با کاربرد از کارتهای اختیاری استفاده نمود. این کارتها امکان تطبیق درایو با کاربرد مشتری را فراهم می آورند. در کنار این مقدورات سخت افزاری باید به برنامه های نرم افزاری متعددی نیز اشاره نمود که معمولا توسط سازندگان داریو برای نیازهای مختلف صنعتی ارائه می شود. استفاده از این برنامه های کاربردهای بسیار ساده و ساده بوده و کاربر می تواند برنامه دلخواه خود را در انتخاب و در داخل درایو قرار دهد. درایوهای امروزی می توانند بسیاری از فیلر پالسهای موجود را پشتیبانی نمی کنند. امروزه پروفی پاس به عنوان یک فیلر باس باز (open). در بسیاری از کاربردهای صنعتی متداول شده است. سازندگان درایو با استفاده

از پروفایل Profi Drive سهولت سازگاری خود را با پروفی باس برقرار می سازند. درایوها علاوه بر ماموریتهای اصلی خود قابلیتهای بیشمار دیگری نیز دارند که ازجمله می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- حفاظت کامل الکترود موتور در مقابل اضافه جریان و نوسانات ولتاژ
- انعطاف پذیری در کنترل پروسه
- سازگاری با نیازهای کاربردی موتور

18-1- نرم افزار کاربردی کنترل پمپ وفن

همانطور که از نام آن پیداست این برنامه کاربردی جهت کنترل یک یا چندین یا پمپ بکار می رود. این نرم افزار بطور اتوماتیک متناسب با فلوی مورد نظر یک یا چند پمپ را روشن کرده و فلو را کنترل می کند. برنامه بطور اتوماتیک تمام پمپ ها را در پریود زمانی مشخص بکار میگیرد.

18-2- نرم افزار کاربردی کنترل سطح پیشرفته:

این نرم افزار کاربردی جهت کنترل دقیق سطح سیال در مخازن بکار می رود این نرم افزارنیز بطور اتوماتیک تعدادی پمپ را مدیریت می کند.

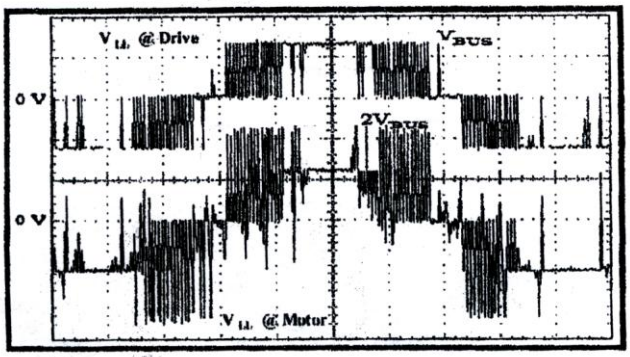
3-18-نرم افزار کنترلی Master Follower

این برنامه قادر است تورک مورد نیاز بار را در تعدادی موتور تسهیم نماید . این موتورها متفقاً یک بار را درایو می کنند و این برنامه ناظر به هماهنگی دقیق آنها در تامین گشتاور مورد نیاز بار است.

ملاک اول تضمین می کند که شبکه برق کارخانه تحت تاثیر عملکرد درایو قرار نگیرد این موضوع وقتی اهمیت بیشتر پیدا می کند که توان درایوهای مورد بحث زیاد بالا باشد. اعوجاجهایی ناشی از عملکرد درایو روی شبکه می تواند عملکرد سایر دستگاههای حساس کنترلی را مختل سازد. تداخل در خطوط مخابراتی کارخانه ایجاد نماید و یا توان راکتیو از شبکه کشیده شود. و واکنش سازمانهای برق منطقه ای را بدنبال داشته باشد. خلاصه ای از روشهای مختلف جهت کاهش هارمونیکهای ناشی از عملکرد بارهای غیر خطی و از جمله درایو درجدول (4) آمده است. توصیه می شود استانداردهای IEEE519 در درایوهای ولتاژ متوسط یا Medium Voltage Drive رعایت شود. بطور خلاصه این استاندارد ملزم می کند که توتال هارمونیک ولتاژ در شبکه کمتر از 5٪ و توتال هارمونیک جریان کمتر از 3٪ باشد. همچنین لازم است ضریب قدرت درایو در تمام رنج تغییرات دور بالای 95٪ باشد.

		میزان تاثیر روی THID	تاثیر روی هارمونیک ها	ملاحظات	سازگاری با IEEE519
راکتور AC یا DC		٪45 -٪29	مرتبه پایین	-کمترین قیمت -راکتورهای AC حالت گذرای ورودی را محدود می کند -مسئله افت ولتاژ روی چک	خیر
ترانسفورماتور ایزوله		٪45		کم قیمت	خیر
فیلتر های غیر فعال	TRAP TUNCD	٪20	مورد نظر	-قیمت متوسط - کاستن از آستانه تحریک سیستم	
	BROADBAND LOW PASS	٪5	مورد نظر	خیلی گران کاستن از آستانه تحریک سیستم کاهش پایداری سیستم	بله به صورت محدود
درایوپس اکتیو	VFD با ورودی اکتیو		مرتبه پایین	گران ضریب قدرت را بهبود می دهد از IGBT استاندارد استفاده می کند	بله
	فیلتر اکتیو		مرتبه پایین	گران MTBF افزایش هارمونیک های مرتبه بالا ضریب قدرت را بهبود می دهد	بله
سیستم های چند پالسه 12، 24، 18	12 پالسه	٪24		قیمت متوسط حساس به عدم تقارن جریان	بله
	18 پالسه	٪25		بالاترین MTBF مقاوم در برابر شرایط گذرا حساس به عدم تقارن جریان	بله

جدول 4 – روش های کاهش هارمونیک های ناشی از عملکرد کنترل کننده های دور موتور



شکل موج خروجی از یک درایو و اسپایکهای ناشی از عملکرد سوئیچهای قدرت و خازنهای پراکندگی سیستم: شکل موج بالا شکل موج خروجی درایو، شکل موج پائین شکل موج ورودی موتور.

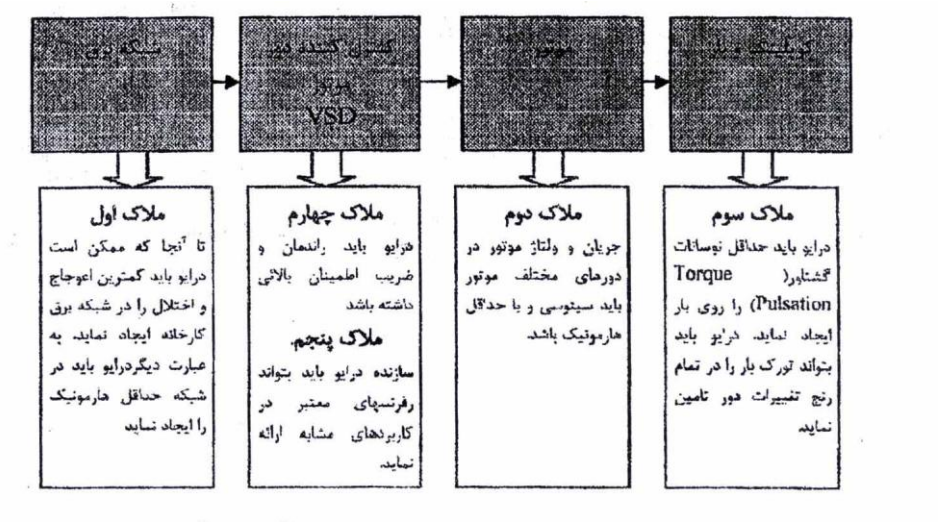
شکل 19

ملاک دوم تضمین می کند که برق خروجی از داریو تنشهای ولتاژ جریان اضافی به موتور تحمیل نخواهد کرد. تنشهای ولتاژ نمی تواند عایق موتور را تحت فشار قرار دهد از سوی دیگر جریانهای هارمونیکی می تواند باعث نوسانات گشتاور در موتور و بار بشود. اعوجاج در ولتاژ جریان موتور می تواند باعث القای جریانهای مخرب در مسیر بنگهای موتور شده و فرسایش سریع آن رابدنبال داشته باشد. مضافا اینکه جریانهای هارمونیکی در موتور منجر به ایجاد حرارت اضافی درموتور خواهد شد درشکل 19 شکل موجهای ولتاژ خروجی یک درایو نمونه را می توانید مشاهده کنید در شکل موج بالا بوده ولتاژ خروجی در ترمینالهای درایو وشکل موج پائین ولتاژ ورودی در ترمینالهای موتور را مشاهده می کنید دامنه اسپایکهای ولتاژ حدود 1500 ولت است. این اسپایکها می توانند عایق موتور را تحت فشار قرار دهند.

19- مسائلی که درایوهای دور متغیر بوجود می آورند:

هرچند که داریو مزایای زیادی دارند ولی در انتخاب و بکارگیری آنها باید دقت کافی به عمل آید. خصوصاً اگر درایوهای مورد بحث توانهای بالایی داشته و تولید کارخانه به عملکرد آنها کاملا مرتبط باشد. در واقع تحقیقات نشان داده است که نگرانی از ضریب اطمینان درایو بعنوان یکی از موانع اصلی در عدم رغبت صنایع به استفاده از آنها در صرفه جوئی انرژی می باشد.

درایوهای ولتاژ متوسط (Medium Voltage Drive) از تکنولوژی ساخت پیچیده ای برخوردارند. اینها معمولا ترکیبی از الکترونیک قدرت ما کنترل، میکرو کامپیوترها، ترانسفورماتورها و فیلترها می باشد. پر واضح است که ارزیابی این اجزا انتخاب درایونهائی دری دشوار و نیازمند زمان کنترل، میکرو کامپیوترها، ترانسفورماتورها وفیلترها می باشند. پر واضح است که ارزیابی این اجزا را انتخاب درایونهائی اوی دشوار و نیازمند زمان بسیج کارشناسان متخصص خواهد بود. با این حال چهارچوب ساده زیر می تواند خریداران درایورا در ارزیابی وانتخاب درایو مورد نظرشان یاد می دهد. دراین چهارچوب پیچیدگیهای داخلی داریو مورد توجه قرار نمی گیرد. بلکه سعی می شود از آثار جانبی درایو عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گیرد. براین اساس مطابق شکل (18) مسائل جانبی درایو را طبقه بندی نموده. و ملاکهائی برای ارزیابی آنها تعیین می کنیم.



شکل (18) چهارچوب پیشنهادی برای ارزیابی درایوهای ولتاژ متوسط با توجه به آثار جانبی آنها

یک معیار خوب برای کیفیت توان خروجی درایو را می توان محدودیت طول کابل موتور به درایو قرار دارد اغلب سازندگان درایو محدودیت های زیادی درطول کابل به موتور اعمال می کنند آنها می گویند اگر طول کابل مثلاً از 100 متر بیشتر باشد لازم است از فیلتر برای سازگاری درایو به موتور استفاده گردد. از این رو برای حصول اطمینان از کیفیت توان خروجی درایو به سه معیار زیر توجه می کنیم.

- طول کابل خروجی از درایو موتور نباید ازسوی سازنده داریو محدود گردد.
- حتی الامکان درخروجی درایو ضرورتی برای استفاده از فیلتر نباشد.
- درایو باید سازگار با موضوع استاندارد موجود بود ونیازی به کارمهندسی جهت تطبیق درایو به موتور نباشد.

ویژگی	مقدار	ملاحظات

توتال هارمونیک ولتاژ ورودی	1/2٪	الزامات IEEE519 دراین مورد ٪5 است
توتال هارمونیک جریان ورودی	0/8٪	الزامات IEEE519 دراین مورد ٪3 است
نوسانات گشتاور (Torque Pulsation)	0/1٪	
محدودیت درطول کابل خروجی	خیر	موردهای عملی با طول کابل 25 کیلومتر وجود دارد
ضریب قدرت درتمام رنج سرعت	بیش از ٪95	
راندمان درایو	بیش از ٪98	
متوسط زمان قبل از بروز خطاMTBF	70/000ساعت	با استفاده Power COLL By Puss Option

جدول (4)

ملاک سوم تضمین می کند که درایو حداقل تاثیر را روی بار و کوبلینگها داشته باشد نوسانات گشتاور باعث استهلاک سریعتر بار و کوپلینگها می شود. اینها آستانه تحریک سیستم را نیز پایین می آورند. ضمناً درایو باید بتواند گشتاور مورد نیاز بار را درتمام سرعتها تامین نماید توصیه می شود میزان نوسانات گشتاور یا Torque Pulsation درخروجی درایو کمتر از 5٪ در رنج تغییرات دور باشد.

ملاک چهارم تصمین می کند که درایو با هزینه کمتر کار خود را انجام بدهد وخود عاملی برای وقفه در تولید نگردد. همچنین درایو فانگنهای ساده ای داشته وسهولت قابل سرویس باشد. و از پشتیبانی فنی مطمئن و سریع برخوردار باشد.

ملاک پنجم می تواند از این لحاظ مورد توجه قرار گیرد که احتمال آن را بدهیم که مشتریان دیگری که از درایو مشابه استفاده میکنند. درانتخاب و بکارگیری درایوهایشان بررسی های کافی کرده اند.

20- درایوهای ولتاژ متوسط Per Fect Harming:

درسال 1994 شرکت ASIS Robicon با معرفی ولتاژ متوسط Per FectHmony مشکلات برشمرده در بالا را حل نموده با مونی درایوهای Per FectHqrmony نگرانیهای صنایع در مسائل این نوع درایو ها نظیر هارمونیک ها ضریب اطمینان و کیفیت توان بتدریج برطرف شده بطوریکه اینک بیش از 3000 دستگاه از این نوع درایوها در منابع و کاربردهای کلیدی بکار گرفته شده است درجدول (7) خلاصه ای از ویژگیهای منحصر بفرد این درایوها آمده است.

ویژگی	مقدار	ملاحظات
توتال هارمونیک ولتاژ ورودی	1.2%	الزامات IEEE519 در این مورد 5% است
توتال هارمونیک جریان ورودی	0.8%	الزامات IEEE519 در این مورد 3% است
نوسانات گشتاور(Torque Pulsation)	0.1%	
محدودیت در طول کابل خروجی	خیر	موردهای عملی با طول کابل ۲۵ کیلومتر وجود دارد
ضریب قدرت در تمام رنج سرعت	بیش از 95%	
راندمان درایو	بیش از 98%	
متوسط زمان قبل از بروز خطا(MTBF)	70,000 ساعت	با استفاده Power Cell Bypass Option

جدول(۷): برخی از مشخصات پیشرفته درایوهای Perfect Harmony

توصیه ها:

1- در بهینه سازی مصرف انرژی بجای یک یا چند موتور کل سیستم را در نظر بگیرید. این نوع بررسی ها لازم است تاثیر اقدامات مورد نظر روی سایر سیستمها ازجمله بهره برداری و تعمیر و نگهداشت به قسمت مورد نظرقرار گیرد.

2- در هنگام تصمیم گیری در خرید موتور کل هزینه های چرخه عمر سیستم مورد نظر را مورد توجه قرار دهید. بیاد داشته باشید که معمولاً هزینه اولیه خرید یک موتور نسبت به هزینه های انرژی وتعمیر و نگهداشت آن در طول عمر مفید سیستم ناچیز است.

3- موتور متناسب با بار انتخاب کنید. بعبارت دیگر از انتخاب موتور بزرگتر از نیاز بار اجتناب کنید.

4- هنگام خرید موتور، موتورهایی با راندمان بالا (Energ Efficient Motors) را انتخاب کنید. و اگر سفارش ساخت ماشینی را به ماشین ساز میدهید. از اوبخواهید از موتورهای با راندمان بالا استفاده کند.

5- در جاهایی که نیاز به تغییر دور افت از کنترل کننده دور موتور استفاده کنید.

6- معمولاً جایگزینی یک موتور با راندمان بالا بجای یک موتور سوخته با توجه به هزینه های چرخه عمر آن اقتصادی است. بنابراین توصیه می شود بررسیهای سیماتیک حتی المقدور دربجای سیم پیچی مجدد موتورسوخته آنرا با موتور با راندمان بالا جایگزین کنید.

7- در کنترل فلور/حجم درپمپ وفن از کنترل کننده دور موتور استفاده کنید.

8- برق مراکز صنعتی را همواره چک کنید.

9- ولتاژ اعمالی به موتور باید ثابت و برابر با ولتاژ های موتورباشد.

10- موتورها را بموقع روغنکاری کنید.

11- سیستم تهویه موتور را همواره کارآمد نگهدارید داده ی موتور را کنترل کنید.

12- از عدم تقارن ولتاژ برق مراکز صنعتی جلوگیری کنید.

13- از ترانسفورماتور متناسب با بار استفاده کنید.

14- در انتخاب درایوهای ولتاژ متوسط (Midium Votage AC Drive) دقت بیشتری بعمل آورید. (توصیه می شود ار چهار چوب پیشنهادی دراین مقاله کمک بگیرید)

15- بازگشت سرمایه ناشی از صرفه جوئی انرژی الکتریکی با استفاده از داریو را تضمین می نماید. حتی در مواردی خود حاضر به سرمایه گذاری در تاسیسات شما خواهد بود. بنابراین درمنمیری انرژی تا آنجا که مسئله مربوط به استفاده از درایو می شود می تواند این شرکت مشاوره کند.

خلاصه:

دراین مقاله بطور خلاصه به اهمیت صرفه جوئی انرژی در رخشهای مختلف اشاره کردیم و خاطر نشان کردیم که این موضوع از دو جنبه اقتصادی و زیست محیطی اهمیت دارد باید اضافه نمود که بهینه سازی مصرف انرژی بخشی از سیاستهای دولتی در کشور پیشرفته ای نیز می باشد در ایران نیز دولت بتدریج موضوع علاقه مند شده و اطلاعاتی نیز درحال انجام می باشد. اشاره شد که در ارتباط با صرفه جویی انرژی، موتورهای الکتریکی می تواند یک هدف بسیار مهم باشد برتریهای فنی موتورهای با راندمان بالا نسبت به سایر موتورها موجب شده است که کشورهای پیشرفته تولید موتورهای معمولی را طبق یک جدول زمانی متوقف سازد. توصیه شد که این کارخانجات می توانند با بکارگیری اقدامات ساده بسیار کم هزینه می توانند صرفه جوئی قابل توجهی درمصرف انرژی بدست آورند. در ادامه مقاله از کنترل کننده های دور موتور بعنوان دستگاههای فوق العاده موثر در کاهش انرژی معرفی بسیاری از تجهیزات مراکز صنعتی یاد کردیم. و نشان دادیم که در کاربردهای فنی نظیر فن و پمپ استفاده از درایورها می تواند تا 50 درصد از کاهش مصرف انرژی موثر باشد ضمناً به یک نمونه عملی با نتایج عالی در منابع مطرح شد به امید روزی که کارخانجات و مراکز صنعتی کشورمان با رعایت این نکات مسئولیت اجتماعی خور را در قبال محیط زیست ایفا شده و بکارگیری این اصول نسبت به رقبای خود برتری اقتصادی بدست آورند.